HOJA SEPARADORA DEJADA INTENCIONALMENTE

LE CORRESPONDE EL FOLIO

Proyecto Mina de Cobre Panamá

ANEXO XXX

Métodos para el Modelamiento del Ruido

Enviado a:

Minera Panamá S.A.

Setiembre 2010 **07-1334-0018**

TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN **PÁGINA**

1 DEFINICIONES 1
1.1 TERMINOLOGÍA SOBRE RUIDO Y VIBRACIÓN 1
1.2 MÉTODOS DE PREDICCIÓN DEL RUIDO 2
1.2.1 Adición de Niveles de Ruido 2
1.2.2 Atenuación del Ruido Ambiental 3

2 MODELAMIENTO DEL RUIDO 8
2.1 SELECCIÓN DEL MODELO 8
2.2 LIMITACIONES DEL MODELAMIENTO DE RUIDO 9
2.3 INCERTIDUMBRE CIENTÍFICA 10
2.4 CONFIGURACIÓN DEL MODELO 11
2.4.1 Recintos Acústicos 12

3 DATOS Y SUPUESTOS DE LOS MODELOS ESPECÍFICOS PARA CADA FUENTE 13
3.1 FASE DE CONSTRUCCIÓN 13
3.1.1 Construcción del Puerto y la Planta de Generación de Energía Eléctrica 13
3.1.2 Construcción de la vía de Acceso 15
3.1.3 Construcción de la Línea de Transmisión 16
3.2 FASE DE OPERACIÓN 21
3.2.1 Emisiones de las Instalaciones Portuarias 22
3.2.2 Emisiones de la Planta de Generación de Energía 23
3.2.3 Emisiones de la vía de Acceso a la Costa 27
3.2.4 Emisiones de la vía de Acceso a Coclesito 28
3.2.5 Emisiones de la Mina 30

4 NIVELES DE PREDICCIÓN DEL RUIDO 36

5 MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA VIBRACIÓN 38
5.1 ENFOQUE PARA LAS VIBRACIONES TERRESTRES 38
5.2 ENFOQUE PARA LAS VIBRACIONES TRANSMITIDAS POR EL AIRE 39

6 BIBLIOGRAFÍA 41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de Configuración del Modelo de Ruido 11
Tabla 2 Pérdida de Transmisión y Clase de Transmisión Estándar de los Paneles de Construcción 12
Tabla 3 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Construcción de las Instalaciones Portuarias... 14
Tabla 4 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Construcción de las Instalaciones Portuarias 15
Tabla 5 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Construcción de la vía de Acceso (Limpieza y Retiro de Material de Desbroce)... 17
Tabla 6 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Construcción de la vía de Acceso (Limpieza y Retiro de Material de Desbroce) 18
Tabla 7 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Construcción de la vía de Acceso (Clasificación y Cimentación)............................. 19
Tabla 8 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Construcción de la vía de Acceso (Clasificación y Cimentación) 20
Tabla 9 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Construcción de la Torre de Transmisión... 20
Tabla 10 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Construcción de la Torre de Transmisión... 21
Tabla 11 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de las Instalaciones Portuarias... 22
Tabla 12 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de las Instalaciones Portuarias 23
Tabla 13 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la Planta de Generación de Energía... 24
Tabla 14 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la Planta de Generación de energía... 25
Tabla 15 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la Planta de Generación de Energía... 26
Tabla 16 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la Planta de Generación de Energía 27
Tabla 17 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la vía de Acceso a la Costa 27

Tabla 18 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la vía de Acceso a la Costa 28
Tabla 19 Fuentes de Emisión de Ruido de la vía de Acceso a Coclesito........ 29
Tabla 20 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la vía de Acceso a Coclesito........ 30
Tabla 21 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la Mina........ 32
Tabla 22 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la Vía de la Mina........ 33
Tabla 23 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la Mina........ 34
Tabla 24 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la Vía de Acceso a la Mina........ 35
Tabla 25 Niveles de Ruido Pronosticados Para la Fase de Construcción........ 36
Tabla 26 Niveles de Ruido Pronosticados Para la Fase de Operaciones 37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Adición de Múltiples Fuentes de Ruido 3
Figura 2 Efecto de la Distancia en la Atenuación de los Niveles de Ruido......... 4
Figura 3 Efecto de la Distancia en la Atenuación de los Niveles de Ruido de Carreteras 5
Figura 4 Efecto de los Obstáculos en la Atenuación Acústica............................ 6

1 DEFINICIONES

1.1 TERMINOLOGÍA SOBRE RUIDO Y VIBRACIÓN

A continuación se proporciona una serie de conceptos y definiciones clave utilizados para la evaluación de la acústica de exteriores, los cuales servirán como guía para el lector:

- El término “sonido” o “emisiones sonoras” hace referencia a la energía acústica generada por fuentes naturales o por el hombre, incluyendo las actividades del Proyecto.
- El término “ruido” o “niveles de ruido” hace referencia a los niveles que se pueden oír o medir en el punto de recepción.
- La “vibración” puede ser terrestre o transmitida por el aire. La vibración terrestre por lo general se siente, mientras que la vibración aérea puede escucharse (sonido).
- Un “receptor” de ruido corresponde al punto en el que se llevan a cabo las mediciones o predicciones de los niveles de ruido.
- El “volumen” de un sonido o ruido se expresa en una escala logarítmica, en unidades denominadas decibeles (dB). Debido a que la escala es logarítmica, todo sonido o ruido que se perciba como dos veces más fuerte sólo será tres decibeles (3 dB) mayor. Un sonido o ruido con el doble de decibeles se percibirá como más de dos veces más fuerte. Asimismo, tres decibeles (3 dB) corresponde al umbral promedio en el que el oído humano puede detectar cambios de volumen.
- El ruido de exteriores por lo general se expresa como un “nivel de ruido equivalente” (L_{eq}), el cual es un promedio logarítmico de los niveles de ruido medidos o pronosticados durante un periodo de tiempo determinado. Este tipo de promedio toma en cuenta la variabilidad natural del sonido.
- Las emisiones sonoras y los niveles de ruido también tienen una “frecuencia”. El oído humano no responde a todas las frecuencias de la misma forma, sino que detecta las frecuencias de rango medio con mayor facilidad, mientras que las frecuencias altas y bajas son más difíciles de detectar. Los niveles de ruido ambiental por lo general se presentan como decibeles de “ponderación A” (o dBA), con lo cual se incorpora la respuesta a la frecuencia del oído humano.
- Si bien los ruidos de baja frecuencia no se pueden “oír”, estos a menudo se pueden sentir. Los decibeles con una frecuencia de “ponderación C” (o dBC) incluyen frecuencias bajas superiores a las de ponderación A. Esta unidad es útil para determinar el impacto potencial de los ruidos de baja frecuencia.
- La vibración transmitida por el aire (ondas sonoras por lo general en las frecuencias más bajas) se mide en decibeles lineales o no ponderados (dBL) para representar la energía total de la vibración.

- El “nivel de potencia acústica (L_w)” es el nivel de potencia del sonido, expresado en decibeles (dB), con respecto a un valor de referencia establecido de 10^{-12} vatios.
- El “nivel de presión acústica (L_p)” corresponde a la presión sonora en un punto determinado cuantificada de la siguiente manera:

$$L_p = 10 \log_{10}(p_{rms}/p_{ref})^2$$

Donde p_{rms} es la media cuadrática de la presión acústica y p_{ref} es la presión acústica rms de referencia (dB re 20 µPa). La “presión acústica” es equivalente a la diferencia entre la presión instantánea en un punto fijo en un campo acústico y la presión en ese mismo punto con ausencia de sonido.

1.2 MÉTODOS DE PREDICCIÓN DEL RUIDO

Existen dos principios acústicos básicos clave para la evaluación de los niveles de ruido esperados del Proyecto. El primero tiene que ver con la adición de múltiples fuentes de ruido. El segundo concepto se relaciona con la atenuación de niveles de ruido en el ambiente.

1.2.1 Adición de Niveles de Ruido

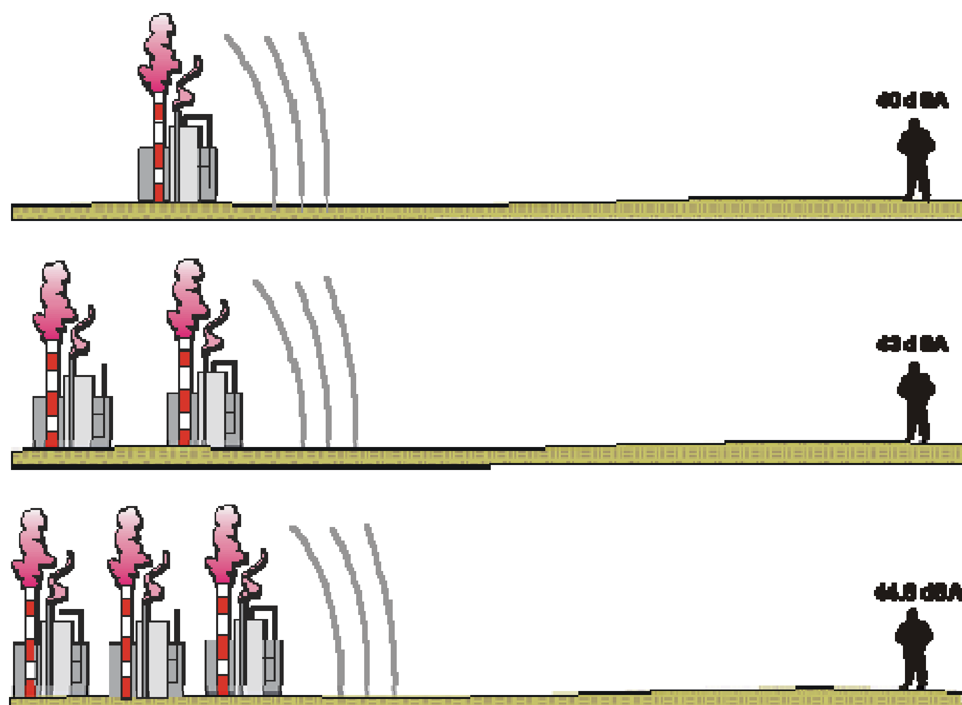
Debido a que los niveles de ruido se miden en una escala logarítmica, el efecto combinado de múltiples fuentes de ruido se calcula según corresponda.

La siguiente fórmula se utiliza para combinar múltiples fuentes de ruido:

$$dBA = 10 \times \log\left(10^{\frac{dBA_1}{10}} + 10^{\frac{dBA_2}{10}} + 10^{\frac{dBA_3}{10}} + \ldots + 10^{\frac{dBA_n}{10}}\right)$$

La Figura 1 muestra los efectos de las fuentes de ruido adicionales en los niveles de ruido ambiental. Si el sonido que se emite desde una misma instalación produce niveles de ruido de 40 dBA, las emisiones de dos instalaciones producirán niveles de ruido de 43 dBA. Por consiguiente, al duplicar las emisiones de sonido se producirá un incremento de 3 dBA en los niveles de ruido. Cuando se añaden las emisiones de una tercera instalación, el nivel de ruido se incrementa a 44.8 dBA.

Figura 1 Adición de Múltiples Fuentes de Ruido



Nota: dBA = Decibeles con ponderación A.

1.2.2 Atenuación del Ruido Ambiental

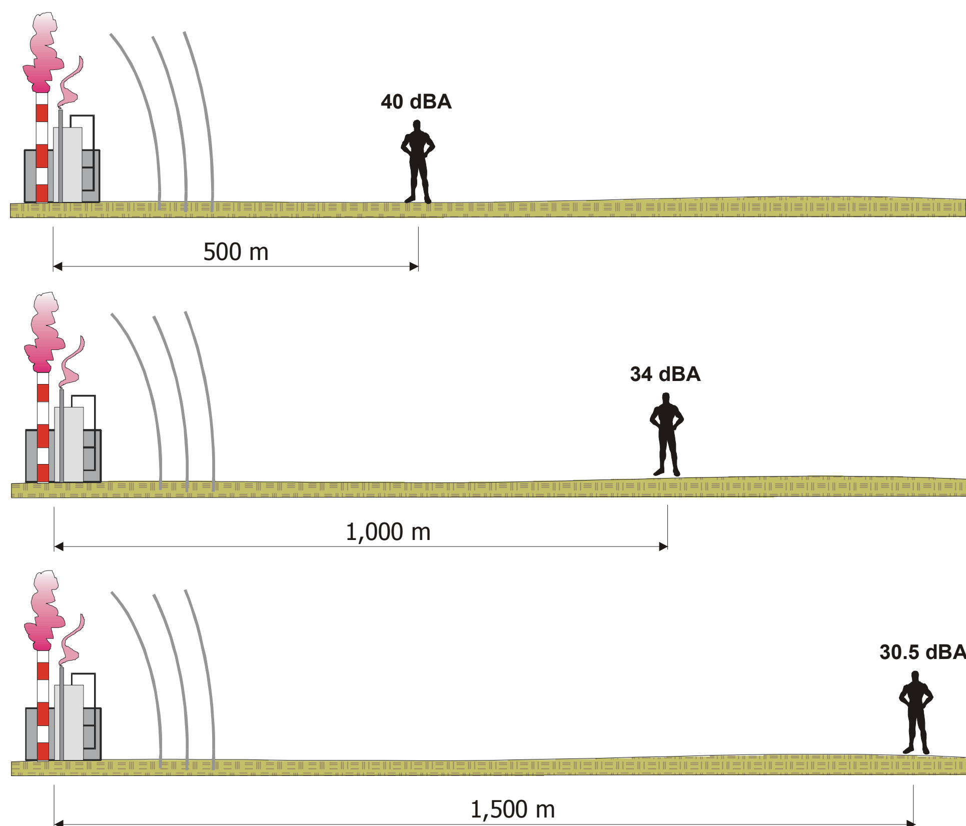
Existen diversos factores para atenuar las emisiones de ruido del ambiente a los cuales se les conoce como factores de atenuación acústica. El factor de atenuación acústica más importante corresponde a la distancia existente entre la fuente y el receptor.

A medida que se incrementa la distancia, los niveles de ruido disminuyen. En el caso de las instalaciones, es posible calcular los niveles de ruido para distancias mayores utilizando la siguiente fórmula (ERCB 2007):

$$L(R_2) = L(R_1) - 20\ Log_{10}(R_2/R_1)$$

La Figura 2 ilustra el efecto de la distancia en los niveles de ruido. La figura muestra que al duplicar la distancia desde determinada instalación se produce una reducción de 6 dBA en los niveles de ruido. Por lo tanto, cuando la distancia se incrementa de 500 a 1,000 metros (m), el nivel de ruido se reduce de 40 a 34 dBA. Al incrementar la distancia otros 500 m, es decir, de 1,000 a 1,500 m, el nivel de ruido se reducirá de 34 a 30.5 dBA.

Figura 2 Efecto de la Distancia en la Atenuación de los Niveles de Ruido



Notas: dBA = Decibeles con ponderación A; m = metros.

El ruido proveniente de una carretera actúa de forma distinta, ya que recorre toda la longitud de la carretera. A medida que se incrementa la distancia, los niveles de ruido disminuyen a una velocidad menor a la que se registra en las instalaciones.

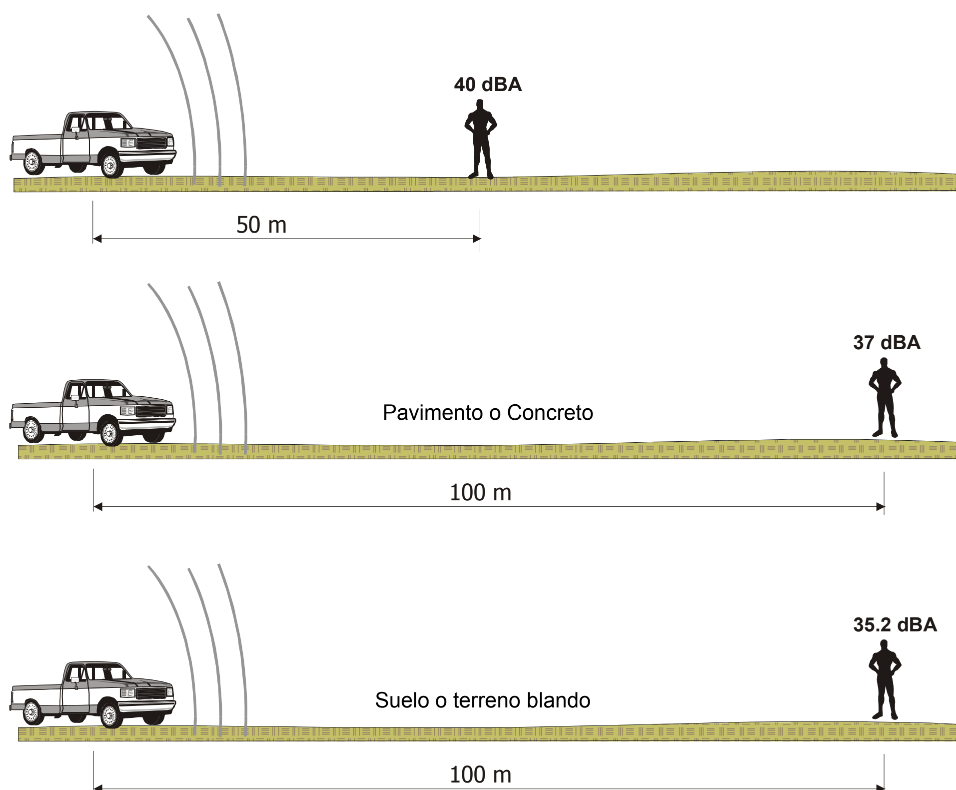
Se puede calcular la reducción en el nivel de ruido utilizando la siguiente fórmula (OE 1989, 1999):

$$dBAL_{p(R_2)} = dBAL_{p(R_1)} - 10 \times (1 + \alpha) \times \log\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$$

En la fórmula anterior, el término alfa (α) se añade para representar el tipo de superficie terrestre existente entre la carretera y el receptor. En el caso de superficies pavimentadas o de concreto, α es igual a cero. Por lo tanto, si se duplica la distancia desde una carretera pavimentada o de concreto, se producirá una reducción de 3 dBA

en los niveles de ruido (Figura 3). En la mayoría de las zonas rurales, el suelo que existe entre el camino y el receptor es blando y se encuentra cubierto por vegetación. En estos casos, α sería mayor que cero (por lo general dentro del rango de 0,6). Si se duplica la misma distancia, el nivel de ruido disminuye de 40 a 35.2 dBA cuando el suelo entre el camino y el receptor es blando.

Figura 3 Efecto de la Distancia en la Atenuación de los Niveles de Ruido de Carreteras



Notas: dBA = Decibeles con ponderación A; m = metros.

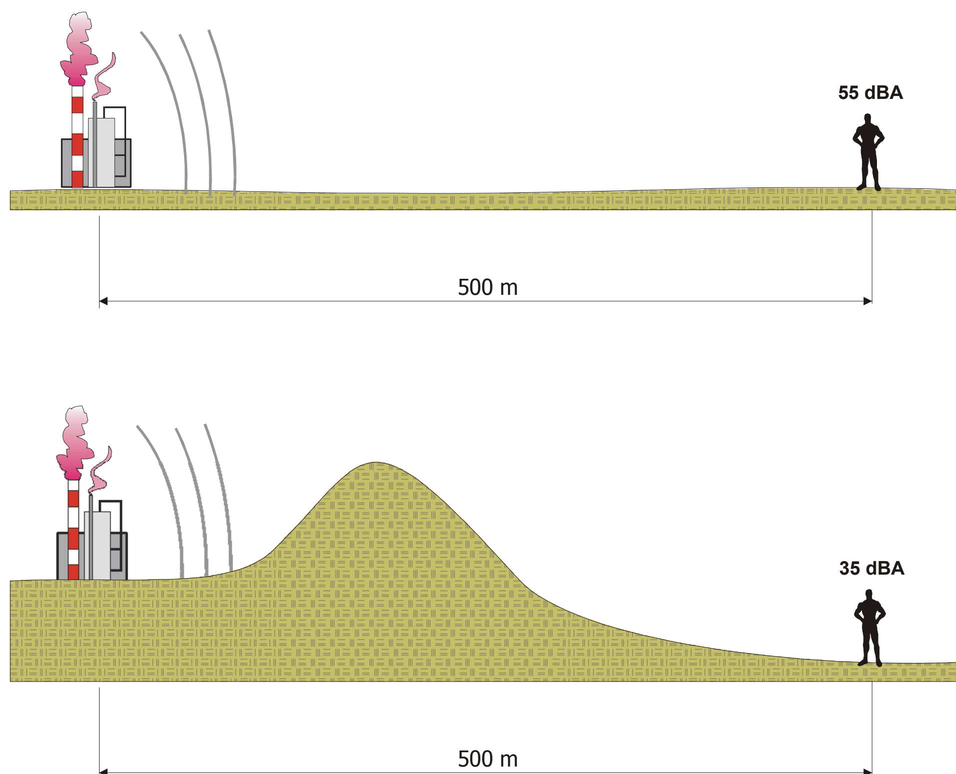
Existen otros factores ambientales que provocarán la atenuación de los sonidos emitidos. Estos incluyen la absorción del sonido en el aire, el efecto de las barreras o los cerros en los niveles de sonido y el efecto de los árboles y el suelo en los ruidos emitidos.

A medida que el sonido atraviesa la atmósfera, éste choca con las moléculas de aire, convirtiendo parte de la energía en calor. Esta transferencia de energía produce una disminución en la energía del sonido. La cantidad de energía que absorbe la atmósfera varía dependiendo de las condiciones climáticas y la frecuencia del sonido. Los

sonidos de baja frecuencia (aquéllos que no pueden ser detectados fácilmente por el oído humano) prácticamente no se ven afectados por la atmósfera. Los sonidos de frecuencia de rango medio (aquellos detectados por el oído humano con mayor facilidad) pueden perder una cantidad significativa de energía en la atmósfera.

Las barreras y los cerros también pueden atenuar el sonido ambiental. A medida que las ondas sonoras "oscilan" entre los obstáculos, éstas pierden grandes cantidades de energía. Este fenómeno explica el uso de barreras a lo largo de las principales carreteras en las zonas urbanas. De igual forma, explica por qué las personas por lo general no pueden oír los sonidos provenientes de fuentes que se encuentran detrás de los cerros. El nivel de atenuación causado por alguna obstrucción es una función del grado de flexión de las ondas sonoras. Por consiguiente, la atenuación es mayor mientras más cerca se esté de la fuente y menos efectiva a distancias mayores. La Figura 4 muestra la forma en la que los cerros pueden atenuar los sonidos industriales.

Figura 4 Efecto de los Obstáculos en la Atenuación Acústica



Notas: dBA = Decibeles con ponderación A; m = metros.

El siguiente tipo de atenuación corresponde al efecto de los árboles en los niveles de ruido. Debido a que los árboles no son elementos sólidos, no actúan de la misma

forma que una barrera. No obstante, un grupo de árboles puede ofrecer un gran nivel de atenuación siempre y cuando se encuentren a una profundidad adecuada y sean lo suficientemente altos. El grado de atenuación es una función de la frecuencia del ruido, la especie de árbol, la altura de los árboles y la presencia de algún efecto de borde. La evaluación de los niveles de ruido del Proyecto no consideró el efecto de los árboles debido a que, de hacerlo, se añadiría mayor incertidumbre al modelamiento. De esta forma se espera lograr una evaluación conservadora ya que existe un número considerable de grupos de árboles entre la obra y algunos receptores.

El método final de atenuación ambiental se relaciona con la interacción de los sonidos con el suelo. El grado de atenuación varía dependiendo de las condiciones climáticas y la vegetación que cubre el suelo. Este tipo de atenuación se incluyó en el modelo utilizado para calcular el grado de atenuación de todas las fuentes de ruido del Proyecto.

Además de la atenuación ambiental como producto de la distancia, obstrucciones terrestres, árboles y otros elementos de la naturaleza, las estructuras creadas por el hombre también pueden reducir los niveles de sonido. Los edificios del Proyecto, las cubiertas para intemperie, los silenciadores de los tubos de escape y otros componentes similares reducen los efectos del sonido de las instalaciones. Los componentes de reducción del ruido pueden diseñarse para incrementar el grado de reducción de las emisiones de ruido aún más que con cualquier otro medio (por ejemplo, añadir aislamiento extra a las estructuras).

2 MODELAMIENTO DEL RUIDO

2.1 SELECCIÓN DEL MODELO

Al seleccionar el modelo de predicción para evaluar los niveles de ruido producidos por la emisión de sonidos del Proyecto, deben considerarse las siguientes condiciones clave:

- si el modelo puede evaluar los distintos tipos de fuentes existentes en la obra;
- si el modelo puede predecir los indicadores de ruido ambiental necesarios; y
- si el modelo cuenta con una base científicamente confiable y se mantiene al día con los estándares actuales sobre sonido ambiental.

El modelo de predicción de Atenuación Acústica Asistido por Computadora (CadnaA, por sus siglas en inglés) desarrollado por DataKustik GmbH se catalogó como un método apropiado para evaluar el impacto del ruido producido por el Proyecto. Los algoritmos que se utilizaron en este modelo cumplen con la mayoría de los lineamientos internacionales. El modelo se utilizó para determinar el L_{eq} generado cada hora por las actividades del Proyecto en los receptores sensibles seleccionados. Asimismo, el método se utilizó para identificar aquellos puntos en los que se podría producir algún ruido como producto de las operaciones en las áreas adyacentes a la obra, por cada escenario de operación clave.

El modelo tiene la capacidad de simular las distintas fuentes de emisión, como caminos, vías férreas, aeropuertos e instalaciones industriales. Éstas se representan como una serie de fuentes puntuales, lineales y de área. Cada uno de los tipos de fuente se puede caracterizar ingresando las emisiones de ruido en términos de ruido total o como componentes de frecuencia de la emisión. Otros parámetros como las dimensiones del edificio y los índices de atenuación acústica de la cubierta del equipo también definen la naturaleza de las emisiones del ruido. El modelo CadnaA también representa el nivel de atenuación de ruido relacionado con las condiciones meteorológicas (vientos predominantes), la cobertura del terreno y las barreras físicas, ya sean naturales (con base en el terreno) o fabricadas por el hombre.

2.2 LIMITACIONES DEL MODELAMIENTO DE RUIDO

El modelamiento del ruido de exteriores se lleva a cabo utilizando algoritmos estándar y supuestos que tienden a simplificar el ambiente acústico. El ruido, producido por la naturaleza o por el hombre, por lo general varía con el tiempo los algoritmos y el indicador L_{eq} representan dicha variabilidad aunque no la predicen. El modelo CadnaA puede establecer la variación de las fuentes de ruido a través del tiempo de distintas formas, dependiendo del tipo de fuente evaluado y del nivel de detalle requerido. Los niveles de ruido que se produzcan en el futuro en los receptores ubicados a determinada distancia de la actividad planificada sólo podrán ser pronosticados. Una vez establecidos los niveles de ruido generados por el Proyecto, el sonido se propaga hacia el receptor a través del aire. Esta propagación se ve influenciada por los siguientes factores:

- La distancia entre la fuente de ruido y el receptor. A mayor distancia, menor será el ruido que llegue hasta el receptor.
- La atenuación del sonido en la atmósfera. El sonido se absorberá en la atmósfera, pero este efecto es menor en comparación con el efecto que se obtiene al incrementar la distancia.
- La atenuación de las ondas sonoras que viajan por el suelo. El sonido se disipa y atenúa cuando las ondas sonoras viajan a través de suelos absorbentes (blandos), como los que se encuentran en campos, prados y bosques. Por otro lado, las ondas sonoras que viajan a través de superficies reflectantes (duras), como el agua o el pavimento, no se disipan o atenúan en absoluto. Aparte de las características de la cobertura del terreno, la atenuación de las ondas sonoras se ve afectada tanto por la altura de la fuente de ruido como por la altura del receptor. Mientras más cerca estén del suelo, mayor será el grado de atenuación.
- Dirección del viento. El sonido se propaga mejor a favor del viento que en contra de éste. Cuando se trata de distancias largas (1 kilómetro [km] aproximadamente), la posición de la fuente de sonido a favor o en contra del viento puede hacer una gran diferencia. En general, se considera que una condición leve en la misma dirección del viento es favorable para la propagación del sonido.
- Reflejos y aislamiento. Una superficie reflectante ubicada detrás de una fuente de ruido o de un receptor, o una barrera de sonido ubicada entre una fuente de ruido y un receptor podría incrementar o reducir los niveles de sonido. A menor distancia entre la barrera o reflector y la fuente de sonido o receptor, mayor será el efecto.
- Características del sonido. Las ondas sonoras de baja frecuencia recorren distancias más largas que las ondas sonoras de alta frecuencia.
- (Cierta) atenuación acústica debido al aislamiento y dispersión de árboles y follaje denso.

La calidad y relevancia de las predicciones que se obtienen a partir del modelo de ruido dependen de los datos registrados. En esta fase del Proyecto se han adoptado una serie de supuestos con base en las experiencias previas con proyectos y equipos similares. Para la presente evaluación, las fuentes de ruido se establecieron de acuerdo con las mediciones de campo reales de equipos similares o, de encontrarse disponibles, con los datos de emisiones sonoras del proveedor para garantizar la precisión de las fuentes. En aquellos casos en los que no se tuvo acceso a datos espectrales, se utilizaron datos de espectros típicos de la bibliografía acústica como referencia para proporcionar datos representativos.

El modelo CadnaA fue diseñado para predecir el ruido de exteriores de conformidad con el documento *9613 (1 y 2) de la Organización Internacional de Normalización (ISO): Atenuación Acústica Durante la Propagación en Exteriores* (ISO 9613 [ISO 1996]) así como con distintos estándares sobre acústica aplicables en Europa y a nivel internacional. El método ISO 9613 predice el nivel de atenuación de ruido hasta más o menos 3 dBA para distancias de hasta 1,000 m entre la fuente y el receptor (ruido de banda ancha, sin depuración o reflejos). La literatura del proveedor y las publicaciones de terceros no verifican este nivel de precisión para el modelo CadnaA. Para validar el cumplimiento de la norma ISO en el modelo CadnaA se llevó a cabo un estudio independiente en el que se verificó que el modelo implementó el método ISO correctamente y que las simulaciones de los niveles de ruido de exteriores coincidan con las mediciones de campo de alguna fuente conocida hasta más o menos 3 dBA (Drew et al. 2005).

2.3 INCERTIDUMBRE CIENTÍFICA

Tal como se indica en la Sección 2.2, el modelamiento de la atenuación del ruido de exteriores se llevó a cabo utilizando algoritmos estándar y supuestos que tienden a simplificar el ambiente acústico. La variación normal de las fuentes de ruido se determina en el proceso de modelamiento dependiendo de la fuente de ruido evaluada y del nivel de detalle requerido.

La calidad y relevancia de las predicciones que se obtienen a partir del modelo de ruido dependen de los datos registrados. Los datos sobre el área y las emisiones de sonido que se utilizaron en la evaluación se establecieron tomando como base las experiencias con otros proyectos desarrollados para proporcionar simulaciones representativas pero conservadoras del área.

El modelo CadnaA que se utilizó para la evaluación predijo los niveles de ruido de conformidad con el documento *9613 (1 y 2) de la Organización Internacional de Normalización: Atenuación Acústica Durante la Propagación en Exteriores (ISO 9613 [ISO 1996])*. El método ISO 9613 predice el nivel de atenuación de ruido hasta más o

menos 3 dBA. Esto no incluye incertidumbres en los niveles de potencia de las fuentes de ruido, estimados en más o menos 3 dB para la misma marca y tipo de equipo que se utilizó en esta evaluación. La precisión total disminuirá a medida que se incremente la distancia.

2.4 CONFIGURACIÓN DEL MODELO

En la Tabla 1 se detalla la configuración de los parámetros de cálculo que se utilizaron para realizar el modelamiento de ruido del Proyecto.

Tabla 1 Parámetros de Configuración del Modelo de Ruido

Parámetro	Config Modelo	Descripción/Notas
estándares	ISO 9613	todas las fuentes y atenuadores reciben el trato que se establece en dicha norma
direccionalidad de la fuente	grupo de generadores; fuentes verticales/ de edificios que se aplican a estructuras de mayor tamaño	los recintos con fuentes de ruido internas se representaron en el modelo como estructuras con una fuente de área horizontal (techo) y cuatro fuentes de área verticales a los lados; por ende, se incluyó tanto la direccionalidad de la emisión de la fuente como el efecto de barrera de la propia unidad; debe tenerse en cuenta que el proceso de diseño no es lo suficientemente avanzado como para garantizar la aplicación de la direccionalidad a fuentes de menor tamaño como tomas de aire
absorción del suelo	0	área boscosa con terreno irregular
temperatura/ humedad	24.6°C/81% humedad relativa	condiciones anuales promedio
condiciones del viento	norma ISO 9613 predeterminada – condiciones de inversión moderada	las condiciones de propagación que se establecen en la norma ISO son válidas para velocidades del viento entre 4 y 18 km/hr; todos los puntos se consideran a favor del viento
terreno	terreno considerado	el terreno que forma parte del área se representó en el modelo con una resolución de 50 m para incluir cualquier barrera topográfica natural dentro del área de estudio sobre los niveles de ruido
reflejos	1	se define como fuentes de reflejo provenientes de estructuras reflectantes (por ejemplo, edificios de metal prediseñados)

Notas: °C = grados centígrados; km/hr = kilómetros por hora; m = metros.

Fuente: Norma 9613 de la Organización Internacional de Normalización (ISO) (ISO 1996).

El parámetro meteorológico que se utiliza en el modelamiento de ruido incluye una temperatura promedio de 24.6 grados centígrados (°C), una humedad relativa de 81% y velocidades del viento entre 5.0 y 7.5 kilómetros por hora (km/hr). Las condiciones meteorológicas del área se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma ISO 9613 (ISO 1996).

2.4.1 Recintos Acústicos

Las paredes y el techo de cada estructura se fabrican con un material de revestimiento de metal. La Tabla 2 muestra la pérdida de transmisión del panel estándar que se utilizó en la evaluación. Los valores que se especifican en la Tabla 2 se basan en los datos sobre la pérdida de transmisión disponibles para las planchas rígidas de aluminio de calibre 20 (ga) que se publicaron en el texto *Engineering Noise Control Theory and Practice* (Técnicas de Control del Ruido, Teoría y Práctica) (Bies D.A. et. al. 2003). Se espera que la pérdida de transmisión real y la Clase de Transmisión Estándar (STC, por sus siglas en inglés) de los paneles sean superiores a los valores utilizados en la evaluación. Sin embargo, para confirmar los valores reales sería necesario realizar pruebas de medición del panel en un laboratorio certificado.

Tabla 2 Pérdida de Transmisión y Clase de Transmisión Estándar de los Paneles de Construcción

Frecuencia [Hz]	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Clase de Transmisión Estándar
pérdida de transmisión de la plancha rígida de aluminio de 20 ga	5 [(a)]	8	11	10	10	18	23	25	30	17

(a) No se especificó el valor. Se sume una reducción de 3 dB con respecto al valor de la frecuencia superior inmediata.

Notas: ga = calibre; Hz = Hertzios; dB = decibeles.

3 DATOS Y SUPUESTOS DE LOS MODELOS ESPECÍFICOS PARA CADA FUENTE

3.1 FASE DE CONSTRUCCIÓN

Para este estudio, se evaluaron las principales emisiones sonoras y el número de unidades de la fase de construcción. Asimismo, se proporcionaron las características y referencias de origen de cada una de las emisiones consideradas. Según las observaciones, algunas de las fuentes emiten sonidos por impulsos o tonos (por ejemplo, posicionamiento de pilotes). Las emisiones sonoras de estas fuentes incluyen una penalidad de 5 dB pues tienden a ser particularmente irritantes (ISO 2003).

Es probable que la fase de construcción incluya actividades de voladura. Sólo se evaluaron aquellas actividades de construcción que generaban los niveles de ruido más altos. Las fuentes de emisión de ruido se colocaron en el modelo de acuerdo con los planes de la obra y en los puntos considerados como los peores escenarios, es decir, las operaciones más cercanas a la comunidad de Río Caimito (construcción del puerto), el sector de Fardalito (construcción del camino a la costa) y San Juan de Turbe (instalación de las torres de transmisión eléctrica). En las siguientes secciones se describen los supuestos que se adoptaron para la fase de construcción.

3.1.1 Construcción del Puerto y la Planta de Generación de Energía Eléctrica

Para la construcción de estas instalaciones, se colocará un total aproximado de 125 pilotes (combinando operaciones de posicionamiento y perforación) en la roca que se encuentra por debajo de la arena del lecho marino para sostener el puente de caballetes y la estructura del atracadero. Sólo se procederá a posicionar los pilotes entre las 07:00 y las 19:00 horas. El escenario evaluado comprende operaciones de perforación de un pilote e posicionamiento/percusión de un pilote durante 10 horas con dos barcazas trabajando de manera continua. Es probable que sea necesario utilizar explosivos en el lecho rocoso para retirar el material. Las actividades de posicionamiento de pilotes se llevarán a cabo de manera simultánea en el embarcadero y en la planta de generación de energía. Algunas operaciones se realizarán durante la noche (por ejemplo, trabajos de preparación, soldadura y limpieza de pilotes). Por consiguiente, cada una de las barcazas tendrá un generador que funcionará de manera ininterrumpida.

Las actividades de construcción del dique se llevarán a cabo las 24 horas del día y se requerirá un tractor, un cargador frontal y dos grúas montadas en barcazas. Las operaciones de descarga de roca requerirán de 12 a 13 camiones por hora.

Para la construcción de la planta de generación de energía eléctrica, las operaciones de posicionamiento de pilotes sólo tendrán lugar durante el día, utilizando dos motores, cada uno de los cuales trabajará 10 horas al día. Las actividades de construcción en general (vaciado de concreto, montaje de estructuras de acero o instalación de maquinaria) se llevarán a cabo durante las 24 horas del día. Una planta mezcladora de concreto trabajará las 24 horas del día, y producirá aproximadamente 100 toneladas por hora hasta con cuatro camiones mezcladores.

En las Tablas 3 y 4 se detallan las fuentes de emisión secundarias que se utilizaron para este escenario. Cuando esta información no se tuvo a disposición, se utilizaron datos espectrales. En aquellos casos en los que sólo se tuvo acceso a datos generales, las potencias acústicas se fijaron en 500 Hz.

Tabla 3 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Construcción de las Instalaciones Portuarias

Fuente	Tipo de Fuente	Cantidad [a]	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
barcazas	área	2	100	[c]
colocación de materiales	área	2	100	[c]
mezcladora de cemento	área	2	107	[d]
posicionamiento de pilotes	puntual	2	127	[c]
camión volcador	lineal	13 [b]	105	[c]
camión de cemento	lineal	3.8 [b]	99	[d]

[a] La cantidad especificada representa el número total de fuentes que se incluyen en el modelo.
[b] Número por hora.
[c] DGMR Consulting Engineers, 2006. Fuente Base de Datos DB versión 1.0.
[d] DEFRA (UK) 2005. Base de Datos de Construcción: Hepworth Acoustics.
Notas: dBA = Decibeles con ponderación A.

Tabla 4 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Construcción de las Instalaciones Portuarias

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava [Hz], dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
barcazas	97	63	77	85	89	92	91	87	81	136	100
colocación de cimientos	65	76	84	89	93	97	94	87	80	109	100
mezcladora de cemento[a]	-	-	-	-	107	-	-	-	-	-	107
posicionamiento de pilotes	72	85	96	105	114	123	121	119	114	127	127
camión volcador	70	80	89	93	98	101	99	92	85	113	105
camión de cemento[a]	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	99

[a] El espectro no se encuentra disponible. La fuente se representó en el modelo con el valor de una banda de 500 Hz.

Notas: - = sin datos; Hz = hertzios; dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A.

3.1.2 Construcción de la vía de Acceso

El mejoramiento de la vía de acceso en Coclesito incluirá la limpieza y el retiro de material de desbroce, nivelación y colocación de grava. La construcción de la vía desde el puerto hasta la mina involucrará las mismas actividades, pero se contará con dos equipos que trabajarán de manera simultánea en cada sección. Se asume que la construcción de la vía de acceso incluirá las siguientes actividades:

- **Limpieza y retiro de material de desbroce –** los trabajos de construcción sólo se llevarán a cabo entre las 07:00 y las 19:00 horas. El escenario de limpieza y preparación incluye 1 arrastrador de troncos forestal, 1 tractor de oruga, 1 excavadora, 1 apeador-apilador, 3 motosierras y 1 camión forestal.
- **Preparación del afirmado de la vía –** se requieren dos retroexcavadoras medianas, una excavadora pequeña con llantas de caucho, un cargador frontal, un tractor de orugas, un martinete para posicionar pilotes y dos motoniveladoras.

Los equipos trabajarán a una distancia aproximada de 1 km y de manera transitoria a lo largo de la vía. Los cálculos realizados corresponden al escenario del peor caso en las comunidades más cercanas. Todos los escenarios asumieron que las fuentes de ruido de los equipos trabajaban en un área de 500 por 250 m, con excepción de los tractores,

tractores de arrastre y camiones de registro o materiales, los cuales se consideraron como fuentes móviles a lo largo del corredor y las vías de acceso del Proyecto.

Para establecer el escenario del peor caso se asumió que la instalación de la torre de transmisión y la construcción de la vía de acceso en la costa se llevarían a cabo de manera simultánea. La instalación de la torre de transmisión requiere un helicóptero para el transporte y la instalación del equipo.

Las Tablas 5 a 8 detallan las distintas fuentes de emisión de ruido que se utilizaron para estos escenarios. Cuando esta información no se tuvo a disposición, se utilizaron datos espectrales. En aquellos casos en los que sólo se tuvo acceso a valores generales, las potencias acústicas se fijaron en 500 Hz.

Se espera dar el mismo uso a la carretera de Coclesito tanto en la fase de construcción como en la fase de operación. Dicho uso se evaluó como parte de la Fase de Operaciones del Proyecto.

3.1.3 Construcción de la Línea de Transmisión

La construcción de la línea de transmisión desde la mina hasta la estación de Llano Sanchez podría requerir principalmente el acceso y uso de un helicóptero para instalar la torre de la línea de transmisión. Para la evaluación se consideró que la instalación de la torre se llevaría a cabo utilizando un helicóptero que sobrevolaría el área durante dos horas en el día y volaría seis horas en los alrededores. Aún no se establece de manera definitiva la ubicación de las torres de transmisión eléctrica; por consiguiente, para la evaluación se asumió que las torres se ubicarán dentro del derecho de vía de la línea de transmisión pero lo más cerca posible de la comunidad.

Los niveles de emisión de ruido relacionados con la instalación de la torre de transmisión se especifican en la Tabla 9. El espectro total de niveles de emisión de ruido se detalla en la Tabla 10.

Tabla 5 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Construcción de la vía de Acceso (Limpieza y Retiro de Material de Desbroce)

Fuente	Tipo de Fuente	Cantidad[a]	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
motosierra	área	3	108	[c]
taladora	área	2	109	[d]
grúa	área	1	113	[e]
generador	área	1	108	[f]
camión (cabina)	área	3 [b]	117	[g]
excavadora	puntual	1	109	[f]
helicóptero (sobrevuelo)	puntual	1	122	[h]
arrastrador de troncos forestal	lineal	4 [b]	101	[d]
tractor	lineal	1 [b]	106	[f]
camión forestal	lineal	2 [b]	95	[i]
helicóptero (vuelo cercano)	lineal	2 [b]	126	[h]

[a] La cantidad especificada representa el número total de fuentes que se incluyen en el modelo.
[b] Número por hora.
[c] NSW EPA 2005.
[d] K. Meitl, comunicación personal
[e] TransCanada Pipelines Limited, 2005.
[f] Datakustik. 2003.
[g] FHWA 1995.
[h] DGMR Consulting Engineers, 2006.
[i] FAA 1985.
Nota: dBA = decibeles con ponderación A.

Tabla 6 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Construcción de la vía de Acceso (Limpieza y Retiro de Material de Desbroce)

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
motosierra[a]	-	-	-	-	108	-	-	-	-	-	108
taladora[a]	-	-	-	-	109	-	-	-	-	-	109
grúa[a]	-	-	-	-	113	-	-	-	-	-	113
generador[a]	-	-	-	-	108	-	-	-	-	-	108
camión[a]	-	-	-	-	117	-	-	-	-	-	117
excavadora[a]	-	-	-	-	108	-	-	-	-	-	108
helicóptero (sobrevuelo)[a]	-	-	-	-	122	-	-	-	-	-	122
arrastrador de troncos forestal[a]	-	-	-	-	101	-	-	-	-	-	101
tractor[a]	-	-	-	-	106	-	-	-	-	-	106
camión forestal	60	70	79	83	88	91	89	82	75	103	95
helicóptero (vuelo cercano)[a]	-	-	-	-	126	-	-	-	-	-	126

[a] El espectro no se encuentra disponible. La fuente se representó en el modelo con el valor de una banda de 500 Hz.

Notas: - = sin datos; dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A; Hz = hertzios.

Tabla 7 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Construcción de la vía de Acceso (Clasificación y Cimentación)

Fuente	Tipo de Fuente	Cantidad [(a)]	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
excavadora	puntual	1	108	(c)
helicóptero (sobrevuelo)	puntual	1	122	(d)
tractor	lineal	1 [(b)]	106	(c)
camión	lineal	2	108	(e)
helicóptero (vuelo cercano)	lineal	2 [(b)]	126	(d)
compresora	área	3	120	(f)
mezcladora de cemento	área	2	92	(g)
retroexcavadora	área	2	98	(c)
martinete para posicionar pilotes	área	1	120	(h)
cargador frontal	área	1	108	(g)

(a) La cantidad especificada representa el número total de fuentes que se incluyen en el modelo.
(b) Número por hora.
(c) Datakustik, 2003.
(d) FAA 1985.
(e) DGMR Consulting Engineers, 2006.
(f) K. Meitl, comunicación personal.
(g) DEFRA (UK) 2005.
(h) Departamento de Protección Ambiental de Hong Kong, 2006.
Nota: dBA = decibeles con ponderación A.

Tabla 8 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Construcción de la vía de Acceso (Clasificación y Cimentación)

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
excavadora[a]	-	-	-	-	108	-	-	-	-	-	108
helicóptero (sobrevuelo)[a]	-	-	-	-	122	-	-	-	-	-	122
tractor[a]	-	-	-	-	106	-	-	-	-	-	106
camión	65	75	84	88	92	96	93	86	80	99.5	108
helicóptero (vuelo cercano)[a]	-	-	-	-	126	-	-	-	-	-	126
compresora[a]	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	120
mezcladora de cemento[a]	-	-	-	-	92	-	-	-	-	-	92
retroexcavador a[a]	-	-	-	-	98	-	-	-	-	-	98
martinete para posicionar pilotes[a]	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	119
cargador frontal[a]	-	-	-	-	108	-	-	-	-	-	108

[a] El espectro no se encuentra disponible. La fuente se representó en el modelo con el valor de una banda de 500 Hz.

Notas: - = sin datos; dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A; Hz = hertzios.

Tabla 9 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Construcción de la Torre de Transmisión

Fuente	Tipo de Fuente	Cantidad [a]	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
helicóptero (sobrevuelo)	puntual	1	122	[c]
helicóptero (vuelo cercano)	lineal	2[b]	126	[c]

[a] La cantidad especificada representa el número total de fuentes que se incluyen en el modelo.

[b] Número por hora.

[c] FAA 1985.

Nota: dBA = decibeles con ponderación A.

Tabla 10 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Construcción de la Torre de Transmisión

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
helicóptero (sobrevuelo)[(a)]	-	-	-	-	122	-	-	-	-	-	122
helicóptero (vuelo cercano)[(a)]	-	-	-	-	126	-	-	-	-	-	126

(a) El espectro no se encuentra disponible. La fuente se representó en el modelo con el valor de una banda de 500 Hz.

Notas: - = datos no disponibles; dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A; Hz = hertzios.

3.2 FASE DE OPERACIÓN

El Proyecto comprende la operación del puerto, la planta de generación de energía, la planta de la mina y la vía de acceso. El equipo que se utilizará durante las operaciones podría generar sonidos que serían detectados por los receptores sensibles en esta evaluación. El periodo de producción del año 1 al año 6 en el tajo Botija, cuya producción asciende a 150,000 toneladas de mineral y 200,000 toneladas de roca estéril al día aproximadamente, se evalúa como uno de los escenarios para que todos los componentes del Proyecto representen el escenario del peor caso. Se asume que la cantera existente no se encuentra activa y, por ende, no constituye una fuente de ruido significativa. Las siguientes secciones describen los supuestos para la fase de operación.

Las emisiones de ruido del Proyecto se establecieron tomando como base los siguientes aspectos:

- listas de equipos proporcionados por el cliente y datos acústicos;
- datos publicados por el fabricante;
- estudios de ruido de equipos similares; y
- especificaciones de equipos y fórmulas de referencia bibliográfica sobre acústica, como el libro *Engineering Noise Control Theory and Practice* - Teoría y Práctica del Control de Ruido en Ingeniería (Bies, D.A et al., 2003) para el cálculo de las emisiones.

3.2.1 Emisiones de las Instalaciones Portuarias

Las fuentes de ruido asociadas al puerto incluyen el ruido de los barcos (grupo electrógeno, ventiladores, carga y descarga, navegación). Otras actividades vinculadas al puerto incluyen el transporte portuario y el almacenamiento de carbón, así como el almacenamiento portuario y el transporte de mineral. El Proyecto aún no se encuentra en una fase de diseño detallado; sólo se han establecido pautas y principios generales. Por lo tanto, en la presente evaluación se utilizan datos acústicos generales de instalaciones similares.

Otras instalaciones del puerto, como el sistema de tratamiento de agua, el depósito de concentrado, almacenes, campamentos permanentes, el sistema de agua potable y tratamiento de aguas residuales, el incinerador y el área de almacenamiento de contenedores también han sido diseñadas únicamente a nivel conceptual y, por ende, se han utilizado datos acústicos generales para estas instalaciones. Los niveles de emisión de ruido de las operaciones portuarias se especifican en las Tablas 11 y 12.

Tabla 11 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de las Instalaciones Portuarias

Fuente	Tipo de Fuente	Cantidad[a]	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
barcos	área	1	108	[b]
barcazas	área	1	102	[b]
trasbordo	área	1	117	[b]
almacén permanente de contenedores	área	1	103	[b]

[a] La cantidad especificada representa el número total de fuentes que se incluyen en el modelo.
[b] DGMR Consulting Engineers, 2006. Base de Datos SourceDB versión 1.0.
Nota: dBA = decibeles con ponderación A.

Tabla 12 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de las Instalaciones Portuarias

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
barcos	73	81	93	101	103	103	100	95	87	117	108
barcazas	99	65	79	87	91	94	93	89	83	138	102
trasbordo	77	89	96	106	110	113	111	106	97	122	117
almacén permanente de contenedores	79	84	93	95	96	98	95	88	84	120	103

Notas: dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A.

3.2.2 Emisiones de la Planta de Generación de Energía

El diseño de la planta de generación de energía se encuentra en la fase conceptual, por lo que únicamente se dispone de información conceptual. Por lo tanto, en la presente evaluación se utilizaron datos acústicos generales basados en instalaciones similares.

Se asume que seis camiones de 20 toneladas transportarán ceniza hacia el depósito durante el día. Sólo un cargador de ruedas de cenizas de fondo trabajará 0.5 hr al día durante la mañana. El depósito de cenizas/pila de cenizas se mantiene o compacta durante un día completo al mes. Existen dos transformadores (150 kilovoltamperios [KVA]) en el patio de maniobras. No se cuenta con un sistema de altavoces, sólo se utiliza comunicación por radio. La planta de filtrado y el espesador no constituyen una fuente de ruido importante. La estructura de captación de agua de mar se ubica dentro de un edificio de 4 m de altura.

Las Tablas 13 y 14 detallan los niveles de emisión de ruido relacionados con las operaciones de la planta de generación de energía eléctrica. Las Tablas 15 y 16 detallan los niveles de emisión de ruido de la flota de equipos de la planta de generación de energía.

Tabla 13 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la Planta de Generación de Energía

Fuente	Tipo de Fuente	Cantidad[a]	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
patio de maniobras	puntual	1	86.4	[b]
tubo de descarga de la planta de generación de energía	puntual	1	103.7	[b]
techo de la sala de bombas de la bocatoma de agua de mar	área	1	120.6	[b]
paredes de la sala de bombas de la bocatoma de agua de mar	área	1	117.2	[b]
cargador de ruedas de ceniza de fondo	área	2	100.8	[b]
techo de la trituradora de carbón	área	1	113.3	[b]
paredes de la trituradora de carbón	área	1	115.6	[b]
parte superior del transformador (1,500 KVA)	área	4	105	[b]
parte lateral del transformador (1500 KVA)	área	4	111.9	[b]
parte superior del transformador (2,500 KVA)	área	4	112.2	[b]
parte lateral del transformador (2,500 KVA)	área	4	116.9	[b]
ventilador del techo	área	2	90.4	[b]
ventiladores de pared	área	2	82.9	[b]
techo del filtro de tela	área	2	87.4	[b]
paredes del filtro de tela	área	2	88.7	[b]
techo de la sala de calderas	área	1	87.6	[b]
nivel inferior de la sala de calderas	área	1	86.8	[b]
nivel superior de la sala de calderas	área	1	95	[b]
techo de la sala de turbinas	área	1	97.4	[b]
nivel inferior de la sala de turbinas	área	1	88.5	[b]
nivel superior de la sala de turbinas	área	1	98.7	[b]

[a] La cantidad especificada representa el número total de fuentes que se incluyen en el modelo.
[b] Medición en campo del mismo equipo o de equipos similares.
[d] DGMR Consulting Engineers, 2006. Base de datos SourceDB versión 1.0.
Notas: dBA = decibeles con ponderación A; kVA = kilovoltamperios.

Tabla 14 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la Planta de Generación de energía

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	32	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
patio de maniobras	63	63	75	78	83	80	74	71	62	103	86
tubo de descarga de la planta de generación de energía	56	70	75	89	99	101	94	79	54	107	104
techo de la sala de bombas de la captación de agua de mar	66	79	99	110	115	116	114	105	98	124	121
paredes de las bombas de la captación de agua de mar	63	76	96	107	112	113	111	102	95	121	117
cargador de ruedas de ceniza de fondo	51	61	70	74	79	82	80	73	66	94	86
techo de la trituradora de carbón	77	90	100	104	107	108	107	103	91	122	113
paredes de la trituradora de carbón	79	93	103	106	110	110	109	105	94	125	116
parte superior del transformador (1500 KVA)	65	82	93	97	102	97	94	85	76	114	105
parte lateral del transformador (1500 KVA)	72	89	99	104	109	104	100	92	83	121	112
parte superior del transformador (2500 KVA)	70	85	94	106	110	102	95	87	80	119	112
parte lateral del transformador (2500 KVA)	75	90	98	111	115	106	100	92	84	124	117

Tabla 14 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para Fase de Operación de la Planta de Generación de Energía (continuación)

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	32	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
ventilador del techo	66	82	74	88	84	83	79	71	57	110	90
ventiladores de pared	62	68	67	79	78	75	71	53	37	102	83
techo del filtro de tela	57	65	70	77	79	84	82	71	62	98	87
paredes del filtro de tela	59	78	78	85	83	77	68	57	48	106	89
techo de la sala de calderas	69	76	80	82	83	79	72	57	44	109	88
nivel inferior de la sala de calderas	74	77	72	74	83	82	71	55	44	114	87
nivel superior de la sala de calderas	81	84	81	82	91	90	79	63	50	121	95
techo de la sala de turbinas	82	88	92	92	91	87	81	68	61	122	98
nivel inferior de la sala de turbinas	75	81	82	83	82	77	70	57	50	115	89
nivel superior de la sala de turbinas	85	91	93	93	92	87	80	67	61	126	99

Notas: dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A; Hz = hertzios; kVA = kilovoltamperios.

Tabla 15 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la Planta de Generación de Energía

Fuente	Tipo de Fuente	Número/Hora	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
camión de 16 toneladas	lineal	0,2[a]	86	[b]

(a) Existen dos líneas que van desde la ceniza de fondo hasta el depósito de cenizas.

(b) DGMR Consulting Engineers, 2006. Base de datos SourceDB versión 1.0.

Nota: dBA = decibeles con ponderación A.

Tabla 16 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la Planta de Generación de Energía

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
camión de 16 toneladas	51	61	70	74	79	82	80	73	66	94	86

Notas: Hz = hertzios; dBA = decibeles con ponderación A; dB = decibeles.

3.2.3 Emisiones de la vía de Acceso a la Costa

La vía de acceso a la costa conecta el puerto con la planta de la mina. Las camionetas recorren la vía de acceso de ida y vuelta hasta la mina realizando hasta 40 viajes en ambas direcciones al día. Los vehículos viajan a una velocidad promedio de 60 kilómetros por hora (km/hr). Los niveles de emisión de ruido asociados al uso de la vía de acceso a la costa se especifican en las Tablas 17 y 18.

Tabla 17 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la vía de Acceso a la Costa

Fuente	Tipo de fuente	Número/Hora	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
camión mediano	lineal	5	104	[a]
motoniveladora	lineal	1	103	[b]

[a] FHWA 1998.

[b] Medición en campo del mismo equipo o de equipos similares

Nota: dBA = decibeles con ponderación A.

Tabla 18 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la vía de Acceso a la Costa

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
camión mediano	74	89	91	94	97	98	97	90	87	118	104
motoniveladora	51	66	89	92	96	100	95	90	83	108	103

Notas: dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A; Hz = hertzios.

3.2.4 Emisiones de la vía de Acceso a Coclesito

Con la finalidad de brindar contexto adicional sobre los efectos potenciales de los ruidos generados por el Proyecto en las comunidades aledañas a la vía de acceso a Coclesito, se llevó a cabo un estudio adicional sobre las ubicaciones relevantes para la evaluación de impacto social. Se considera que el análisis es válido tanto para la fase de construcción como para la fase de operación.

El estudio de tráfico que se llevó a cabo en las comunidades locales entre julio y agosto de 2008 representa la tendencia del tráfico a lo largo de la vía de acceso existente de Coclesito. En el Apéndice E del Anexo XX (Estudio de Tráfico y Cruces de Camino) se resumen los datos disponibles para el periodo comprendido entre las 5:00 am y las 8.00 pm. A partir de la tabla se deduce que no existen similitudes ni una tendencia observables entre los volúmenes de tráfico de la comunidad durante un día cualquiera. Por lo tanto, se establecieron niveles de ruido para cada una de las comunidades que forman parte del estudio de tráfico utilizando los datos que se consignan en el Apéndice E del Anexo XX (Estudio de Tráfico y Cruces de Camino) y los siguientes supuestos:

- todo el tráfico se desplaza a una velocidad de 50 km/hr;
- los automóviles y las furgonetas para siete pasajeros generan emisiones de sonido similares; y
- los camiones grandes y la maquinaria agrícola generan emisiones de sonido similares.

Los niveles de potencia acústica asociados al tráfico en la vía de acceso a Coclesito durante cualquiera de las fases del Proyecto se especifican en la Tabla 19. El espectro total de potencia acústica se presenta en la Tabla 20.

Según la descripción del proyecto correspondiente a abril del año 2008, se espera que el uso de la vía de acceso relacionada con las operaciones mineras y de construcción alcance un promedio de 75 a 150 vehículos por día en cada sentido. Se adoptaron los siguientes supuestos para la evaluación del ruido de tráfico:

- mezcla de automóviles (45%), autobuses (10%) y camiones (45%);
- 150 viajes de ida y vuelta por cada sentido; y
- velocidad promedio de 50 km/hr.

Tabla 19 Fuentes de Emisión de Ruido de la vía de Acceso a Coclesito

Fuente	Tipo de Fuente	Nivel de Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
camiones	lineal	113	(a)
automóviles	lineal	91	(b)
autobuses (con silenciador)	lineal	116	(c), (d)
autobuses (sin silenciador)	lineal	113	(c), (d)

(a) Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés), 1998. Manual Técnico de Modelos de Ruido de la FHWA 1.0. Apéndice A – Emisiones de Ruido de los Vehículos.

(b) DGMR Consulting Engineers, 2006. Base de datos SourceDB versión 1.0.

(c) Crocker M.J, 2007. Handbook of Noise and Vibration Control (Guía de Control del Ruido y Vibraciones), Primera Edición. Capítulo 120 – Exterior Noise of Vehicle – Traffic Noise Prediction and Control (Ruido Exterior de los Vehículos – Predicción y Control del Ruido)

(d) All Bies, D.A y Hansen, C.H., 2003. Engineering Noise Control. Theory and Practice. (Control de Ruidos en Ingeniería: Teoría y Práctica) Tercera Edición. Capítulo 11 - Sound Power and Sound Pressure Estimation Procedures (Procedimientos de Cálculo de Potencia Acústica y Presión Acústica)

Tabla 20 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la vía de Acceso a Coclesito

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava [Hz], dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
camiones[a]	78	88	97	101	105	109	106	99	93	121	113
automóviles[b]	59	74	77	78	85	85	83	78	73	103	90
autobuses (con silenciador)[c,d]	83	92	108	111	109	108	103	93	83	128	116
autobuses (sin silenciador)[c,d]	83	92	108	111	109	108	103	93	83	116	128

[a] Administración Federal de Carreteras (FHWA), 1998. Manual Técnico de Modelos de Ruido de la FHWA 1.0. Apéndice A – Emisiones de Ruido de Vehículos.

[b] DGMR Consulting Engineers,2006. Base de datos SourceDB versión 1.0.

[c] Crocker M.J, 2007. Handbook of Noise and Vibration Control, Primera Edición. Capítulo 120 – Exterior Noise of Vehicle – Traffic Noise Prediction and Control

[d] All Bies, D.A and Hansen, C.H., 2003. Engineering Noise Control. Theory and Practice. Tercera Edición. Capítulo 11 - Sound Power and Sound Pressure Estimation Procedures

Notas: Hz = hertzios; dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A.

3.2.5 Emisiones de la Mina

El diseño de la mina se encuentra en la etapa conceptual, pero aún se desconoce el tipo y número de vehículos que conforman la flota de la mina. Tomando como base los conocimientos adquiridos en proyectos similares, se estableció el escenario del peor caso posible (actividades más cercanas a las comunidades, exploraciones cerca de la superficie). Se evaluó el periodo de producción del año 11 al año 15 en el tajo Botija, cuya producción asciende aproximadamente a 225,000 toneladas de mineral y 300,000 toneladas de roca estéril al día. Se asumió que únicamente el tajo Botija se encontraba operativo. Los modelos del tajo Colina y el tajo Valle Grande no representan el peor nivel de ruido en San Benito. El tajo de la mina se ubica en el punto más elevado; por ejemplo, en la superficie del terreno.

Para las actividades de acarreo se adoptaron los siguientes supuestos:

- el proceso de carga y descarga de un camión demorará 7.5 minutos en promedio;
- se utilizarán camiones de 345 toneladas para el acarreo de mineral y roca estéril;
- se utilizarán camiones de 345, 96 y 38 toneladas para el acarreo de saprofita;

- la velocidad promedio de un camión cargado es 20 km/hr; la velocidad promedio de un camión vacío es 50 km/hr; y
- el número de viajes/hora se encuentra determinado por el tonelaje total que se transportará, la capacidad del camión, la velocidad promedio, la distancia promedio hasta el depósito de almacenamiento de roca estéril y el tiempo promedio que se requiere para cargar y descargar el camión.

En la planta procesadora de la mina, la bomba de la barcaza de recuperación y la bomba de descarga activa se ubican dentro de un edificio de 4 m de altura. El revestimiento de metal de la estructura de la pared está hecho de una plancha de aluminio rígida de 20 ga, con aberturas de 1 m de ancho por encima del suelo. Los transportadores que se encuentran en la estación de transferencia son accionados eléctricamente y no constituyen una fuente de ruido importante. Todos los motores que generan ruido en la planta concentradora trabajan a 1800 rotaciones por minuto (rpm). El proceso de molienda primaria (molino semiautógeno [SAG]) se lleva a cabo en exteriores en el área de almacenamiento de mineral grueso. El proceso de molienda secundaria se realiza al interior de la planta concentradora. Existen dos bombas ciclónicas y dos bombas de descarga activas totalmente cubiertas en los edificios.

En la Tabla 21 se detallan los equipos asociados a la operación de la mina y sus respectivos niveles de emisión de ruido. En la Tabla 22 se especifican los niveles de emisión de ruido de los equipos al interior de la mina.

El espectro de emisión de sonido de las fuentes de ruido propuestas asociadas a las operaciones mineras se detalla en las Tablas 25 y 26. Se proporcionan los niveles de potencia acústica total (L_w) utilizados en el modelo para todos los edificios. Estos valores se utilizaron para calcular las emisiones de ruido de las paredes y techos de los edificios.

Tabla 21 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la Mina

Fuente	Tipo de Fuente	Cantidad [(a)]	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
tajo Botija	área	1	136	(b), (c)
depósito de saprolita	área	1	120	(b), (c)
depósito de relaves	área	1	124	(b), (c)
pila de almacenamiento de mineral en la trituradora	área	1	120	(b), (c)
depósito de almacenamiento de roca estéril (DARE)	área	1	126	(b), (c)
techo de la sala de bombas ciclónicas	área	1	129	(b), (c)
paredes de la sala de bombas ciclónicas	área	1	128	(b), (c)
techo de la sala de bombas de descarga	área	1	121	(b), (c)
paredes de la sala de bombas de descarga	área	1	111	(b), (c)
techo de la planta concentradora	área	1	106	(b), (c)
paredes de la planta concentradora	área	1	102	(b), (c)
techo de la subestación	área	1	128	(b), (c)
paredes de la subestación	área	1	86	(b), (c)
molino SAG	área	1	95	(b), (c)

(a) La cantidad especificada representa el número total de fuentes que se incluyen en el modelo.
(b) All Bies y Hansen 2003.
(c) Medición en campo del mismo equipo o de equipos similares.
Notas: SAG = molienda semiautógena; ROM = tal como se extrae de la mina.

Tabla 22 Fuentes de Emisión de Ruido Durante la Fase de Operación de la Vía de la Mina

Fuente	Tipo de Fuente	Número /Hora	Potencia Acústica de Ponderación A [dBA]	Referencia de Potencia Acústica
desde el tajo Botija hasta la plataforma de trituación y área de almacenamiento	lineal	27,2	124	(b)
desde el tajo Botija hasta el depósito de saprofita	lineal	2,9	118	(a), (b)
desde el tajo Botija hasta el depósito de almacenamiento de roca estéril	lineal	29	126	(a), (b)
desde el tajo Botija hasta el depósito de relaves (camiones de 38 toneladas)	lineal	3,2	107	(a), (b)
desde el tajo Botija hasta el depósito de relaves (camiones de 96 toneladas)	lineal	8,2	116	(a), (b)
desde la plataforma de trituración y el área de almacenamiento hasta el tajo Botija	lineal	26,6	123	(b)
desde el depósito de saprolita hasta el tajo Botija	lineal	2,9	117	(a), (b)
desde el depósito de almacenamiento de roca estéril hasta el tajo Botija	lineal	29	125	(a), (b)
desde el depósito de relaves hasta el tajo Botija (camiones de 38 toneladas)	lineal	3,2	103	(a), (b)
desde el depósito de relaves hasta el tajo Botija (camiones de 96 toneladas)	lineal	16,3	115	(a), (b)
desde el tajo Botija hasta el camión cisterna del depósito de relaves	lineal	1	91	(a), (b)
desde el tajo Botija hasta el camión cisterna del depósito de almacenamiento de roca estéril	lineal	1	86	(a), (b)
desde el tajo Botija hasta el camión cisterna del depósito de saprolita	lineal	1	88	(a), (b)

(a) All Bies y Hansen 2003.

(b) Medición en campo del mismo equipo o de equipos similares.

Notas: SAG = molienda semiautógena.

Tabla 23 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la Mina

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
tajo Botija	93	110	119	122	125	129	132	127	122	141	136
depósito de saprolita	77	95	110	110	113	114	113	107	97	129	120
depósito de relaves	74	90	111	112	116	120	116	111	103	130	124
pila de almacenamiento de mineral en la trituradora	81	99	108	112	113	115	113	107	99	130	120
depósito de almacenamiento de roca estéril	87	105	115	118	119	121	119	113	105	136	126
plataforma de trituración	89	105	114	118	123	125	122	117	106	136	129
techo de la sala de bombas ciclónicas	73	86	106	118	122	123	121	112	105	131	128
paredes de la sala de bombas ciclónicas	66	79	99	111	115	116	114	105	98	124	121
techo de la sala de bombas de descarga	65	75	92	104	109	102	95	84	72	117	111
paredes de la sala de bombas de descarga	60	70	87	99	104	97	90	79	67	112	106
techo de la planta concentradora	89	90	89	95	98	95	89	83	70	128	102
paredes de la planta concentradora	89	90	89	95	98	95	89	83	70	102	128
techo de la subestación	46	51	81	80	82	77	68	58	52	98	86
paredes de la subestación	49	67	81	93	90	87	79	75	66	104	95
molino SAG	72	82	93	104	119	120	116	111	98	125	124

Notas: dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A; Hz = hertzios; SAG = molienda semiautógena; ROM = tal como se extrae de la mina.

Tabla 24 Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava Para la Fase de Operación de la Vía de Acceso a la Mina

Nombre de la Fuente	Nivel de Potencia Acústica a la Frecuencia Central de la Banda de Octava (Hz), dBA									General	
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	dB	dBA
desde el tajo Botija hasta la plataforma de trituración y la pila de almacenamiento	88	105	114	117	117	119	116	113	107	136	124
desde el tajo Botija hasta el depósito de saprolita	82	99	108	110	111	112	109	106	101	129	118
desde el tajo Botija hasta el depósito de almacenamiento de roca estéril	89	107	116	118	119	120	117	114	109	137	126
desde el tajo Botija hasta el depósito de relaves (camiones de 38 toneladas)	63	82	93	97	99	102	102	97	88	114	107
desde el tajo Botija hasta el depósito de relaves (camiones de 96 toneladas)	74	91	108	106	107	110	109	106	99	126	116
desde la plataforma de trituración y el área de almacenamiento hasta el tajo Botija	88	101	111	116	114	116	116	113	109	133	123
desde el depósito de saprolita hasta el tajo Botija	83	96	106	110	109	111	110	108	104	128	117
desde el depósito de almacenamiento de roca estéril hasta el tajo Botija	90	104	114	118	117	119	118	116	112	136	125
desde el depósito de relaves hasta el tajo Botija (camiones de 38 toneladas)	59	78	89	93	95	98	98	93	84	110	103
desde el depósito de relaves hasta el tajo Botija (camiones de 96 toneladas)	73	90	107	105	106	109	108	105	98	125	115
desde el tajo Botija hasta el camión cisterna del depósito de relaves	49	66	83	82	82	85	84	81	74	101	91
desde el tajo Botija hasta el camión cisterna del depósito de almacenamiento de roca estéril	44	61	78	77	77	80	80	76	69	96	86
desde el tajo Botija hasta el camión cisterna del depósito de saprolita	46	63	80	79	79	83	82	79	71	98	88

Notas: dB = decibeles; dBA = decibeles con ponderación A; Hz = hertzios; ROM = tal como se extrae de la mina.

4 NIVELES DE PREDICCIÓN DEL RUIDO

En las Tablas 27 y 28 se especifican los niveles de ruido pronosticados para todas las comunidades con respecto a los escenarios de construcción y operación, respectivamente. Asimismo, se muestran los cálculos de ruido acumulado que se presentaron en el EIAS.

Tabla 25 Niveles de Ruido Pronosticados Para la Fase de Construcción

Ubicación	Escenario	Nivel de Ruido de Línea Base [dBA]		Nivel de Ruido Modelado [dBA]		Nivel de Ruido Pronosticado [dBA][a]	
		Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día
comunidad de Río Caimito	construcción del puerto	49	50	27	41	49	51
comunidad de Chicheme[c]	construcción de la vía de acceso (limpieza y preparación) y la torre de transmisión	49	48	0	63	49	63
	construcción de la vía de acceso (instalación de cimientos) y la torre de transmisión	49	48	0	63	49	63
comunidad de San Benito	construcción de la vía de acceso (limpieza y preparación) y la torre de transmisión	49	48	0	56	46	57
	construcción de la vía de acceso (instalación de cimientos) y la torre de transmisión	49	48	0	56	46	57
salón comunitario en Molejón[d]	construcción de la torre de transmisión	48	52	0	74	53	74

(a) Suma logarítmica del nivel de ruido de la línea base y el aporte de ruido de las operaciones del Proyecto.

(b) Diferencia aritmética entre la línea base y el Proyecto.

(c) Se asume que esta comunidad presenta un nivel de ruido de línea base similar al de la comunidad de Nuevo Sinaí.

(d) Se asume que esta comunidad presenta un nivel de ruido de línea base similar al de la comunidad de Cascajal.

Nota: dBA = decibeles con ponderación A.

Tabla 26 Niveles de Ruido Pronosticados Para la Fase de Operaciones

Ubicación	Nivel de Ruido de Línea Base [dBA]		Nivel de Ruido Modelado [dBA]		Nivel de Ruido Pronosticado [dBA][(a)]	
	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día
comunidad de Nuevo Sinaí	49	48	28	28	49	48
comunidad de Río Caimito	49	50	41	41	50	50
comunidad de San Benito	46	51	38	38	47	51
comunidad de Los Molejones	48	52	31	31	48	52
comunidad de Nazareth	47	49	29	29	47	49
comunidad de Cascajal	53	58	43	44	53	58
comunidad de Nueva Lucha[(c)]	49	48	0	0	49	48
comunidad de La Pintada[(d)]	47	49	34	34	47	49
comunidad de Coclesito[(d)]	47	49	23	23	47	49
comunidad de Penonomé[(e)]	48	52	38	38	48	52
comunidad de San Juan de Turbe[(e)]	48	52	29	29	48	52
comunidad de Molejón[(f)]	53	58	51	52	55	59
comunidad de San Antonio[(f)]	53	58	55	55	57	60
comunidad de Nuevo San José[(f)]	53	58	22	23	53	58
comunidad de Llano Grande[(f)]	53	58	44	44	54	58
comunidad de Ranchería[(f)]	53	58	51	51	55	59
comunidad de Sabaneta[(f)]	53	58	44	45	54	58
sector de Fardalito[(c)]	49	48	0	0	49	48
comunidad de Villa del Carmen[(f)]	53	58	24	24	53	58
sector de Chicheme[(c)]	49	48	44	44	50	49

(a) Suma logarítmica del nivel de ruido de la línea base y el aporte de ruido de las operaciones del Proyecto.

(b) Diferencia aritmética entre la línea base y el Proyecto.

(c) Se asume que esta comunidad presenta un nivel de ruido de línea base similar al de la comunidad de Nuevo Sinaí.

(d) Se asume que esta comunidad presenta un nivel de ruido de línea base similar al de la comunidad de Nazareth.

(e) Se asume que esta comunidad presenta un nivel de ruido de línea base similar al de la comunidad de Los Molejones.

(f) Se asume que esta comunidad presenta un nivel de ruido de línea base similar al de la comunidad de Cascajal.

Nota: dBA = decibeles con ponderación A.

5 MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA VIBRACIÓN

A continuación se proporciona una descripción detallada del cálculo realizado para las vibraciones terrestres y aéreas.

5.1 ENFOQUE PARA LAS VIBRACIONES TERRESTRES

Las vibraciones terrestres inducidas por voladuras (ondas de cuerpo (subterráneas) y de superficie) se atenúan naturalmente con la distancia desde el área de la voladura. Las ondas de cuerpo se atenúan más rápido que las ondas de superficie. Por tal motivo, las ondas de superficie son más dominantes a distancias mayores. La intensidad de la vibración que se percibe o se mide en las estructuras externas a la obra que se encuentran más cerca de la mina del Proyecto estaría determinada por las ondas de superficie.

La intensidad de las vibraciones terrestres, que es un efecto elástico que se mide en unidades de velocidad máxima de partícula, se define como la velocidad de excitación de las partículas en la tierra como resultado del movimiento vibratorio. En el presente informe, la velocidad máxima de partícula se mide en milímetros por segundo (mm/s).

La velocidad a la que se atenúan las vibraciones terrestres desde el área de la voladura depende de distintas variables, como:

- características de la voladura (tiempo de retraso, tipo de explosivo);
- topografía del área; y
- características del lecho rocoso y/o materiales del suelo.

Debido a que aún no se inician las operaciones mineras, no existen datos sobre vibraciones terrestres específicas para el área del Proyecto. La magnitud de las vibraciones provocadas por las operaciones de voladura a tajo abierto en las propiedades adyacentes se pronosticó utilizando las ecuaciones de atenuación generales que se encuentran en la bibliografía existente. La intensidad de las vibraciones terrestres provocadas por las operaciones de voladura constituye principalmente una función del peso máximo del explosivo detonado (activado) por periodo de retraso, y la distancia entre la voladura y el receptor. La velocidad con la que se atenúan o decaen las vibraciones terrestres desde un área de voladura se puede expresar mediante la distancia a escala, la cual se define de la siguiente manera:

$$SD_g = D/W^{1/2}$$

Donde:

SD_g = distancia a escala (metros por kilogramo elevado a la raíz cuadrada [m/kg$^{1/2}$]) entre la voladura y el receptor para la vibración terrestre.

D = distancia (m) entre la voladura y el receptor.

W = peso máximo (kg) del explosivo detonado por periodo de retraso.

El pronóstico del nivel máximo de vibraciones terrestres se puede calcular utilizando la siguiente ecuación (ISEE 1998):

$$PPV = 1{,}725(SD_g)^{-1.6}$$

Donde:

PPV = velocidad máxima de partícula (mm/s).

SD_g = distancia a escala (m/kg$^{1/2}$).

5.2 ENFOQUE PARA LAS VIBRACIONES TRANSMITIDAS POR EL AIRE

Las actividades de voladura provocarán vibraciones que se transmitirán a través del aire. Los niveles de vibración transmitida por el aire se miden en decibeles lineales (dBL) y se atenúan a medida que se incrementa la distancia desde el área de la voladura, tal como ocurre con el ruido transmitido por el aire. Los niveles de vibración

transmitida por el aire se pueden pronosticar a través de un modelo de atenuación lineal.

Las vibraciones transmitidas por el aire se atenúan desde el área de la voladura a una velocidad inferior a la de las vibraciones terrestres. La distribución de la energía de las vibraciones transmitidas por el aire se ve fuertemente influenciada por las condiciones climáticas predominantes durante las operaciones de voladura. Otros factores que influyen en la distribución de las vibraciones transmitidas por el aire como producto de una voladura incluyen:

- longitud del collar y tipo de taco;
- diferencias en los tipos de explosivos; y
- variaciones en la distancia de carga.

La velocidad a la que las vibraciones aéreas decaen o se atenúan desde el área de voladura se pueden expresar mediante una distancia a escala, la cual se define de la siguiente manera para las vibraciones aéreas:

$$SD_a = D/W^{1/3}$$

Donde:

SD_a = distancia a escala entre la voladura y el receptor para las vibraciones aéreas.

D = distancia (metros) entre la voladura y el receptor.

W= peso máximo (kilogramos) del explosivo detonado por periodo de retraso.

El pronóstico del nivel máximo de vibraciones aéreas se basa en la siguiente ecuación (ISEE 1998), para la cual se asume el enterramiento promedio de los explosivos:

$$P = 20\log_{10}[(SD_a)^{-1.1}] + 170.75$$

Donde:

P = presión de aire máxima (dBL).

SD_a = distancia a escala ($m/kg^{1/3}$).

6 BIBLIOGRAFÍA

All Bies, D.A and Hansen, C.H., 2003. *Engineering Noise Control.* Theory and Practice. Third Edition. Chapter 11 - Sound Power and Sound Pressure Estimation Procedures.

Bies, D.A. and C.H. Hansen. 2003. *Sound Power and Sound Pressure Estimation Procedures.* In Engineering Noise Control. Theory and Practice. University of Adelaide, Australia. 719 pp.

Datakustik. 2003. *Computer Aided Noise Abatement SET-Manual Version 3.2*. DataKustik GmbH. Munich, Germany.

Datakustik. 2006. *Computer Aided Noise Abatement Model Version 3.7.* DataKustik GmbH. Munich, Germany.

DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). 2005. *Noise Database for Prediction of Noise on Construction and Open Sites*. Queen's Printer and Controller of HMSO 2005.

DGMR Consulting Engineers, 2006. *SourceDB Database version 1.0*.

Drew, T., D. daSilva and C. Decock. 2005. *Community Noise Models – Do They Work?* A Case Study. Alberta Acoustical Society 2005 Spring Conference, Banff Alberta.

ERCB (Energy Resources Conservation Board). 2007. *Directive 038: Noise Control Directive*.

FAA (Federal Aviation Administration). 1985. *Noise Tests of 8 Helicopters (Sikorsky S76 Skycrane)*. FAA-EE-85-7, US DOT.

FHWA (Federal Highway Administration). 1995. *Highway Traffic Noise Analysis and Abatement: Policy and Guidance 1995.*

IFC (International Finance Corporation). 2007. *Environment, Health and Safety Guidelines, Section 1.7 Noise*. April 2007.

ISO (International Organization for Standardization). 1996. *ISO 9613: Acoustics – Attenuation of Sound During Propagation Outdoors.* Geneva, Switzerland.

ISO. 2003. *ISO 1996-1: Acoustics – Description, Measurement and Assessment of Environmental Noise.* Part 1 Basic Quantities and Assessment Procedures. ISO Switzerland. 25pp.

Meitl, K. 2008. Personal Communication: Kenneth Meitl of Caterpillar Corporation re sound emissions. Meitl_Kenneth@cat.com.

NSW EPA (New South Wales Environmental Protection Agency). 2005. Noise Database.

OE (Ontario Ministry of the Environment). 1989. *ORNAMENT (Ontario Road Noise Analysis Method for Environmental and Transportation).* Technical Document. Prepared by the Air and Noise Section, Environmental Assessment and Approvals Branch, Ontario Ministry of the Environement. Queens Printer for Ontario.

OE. 1999. *Environmental Noise Assessment in Land Use Planning – a Manual for the Noise Assessment in Land Use Planning Course.* Prepared by the Air and Noise Section, Environmental Assessment and Approvals Branch, Ontario Ministry of the Environment. Queens Printer for Ontario.

OME (Ontario Ministry of the Environment). 1978. *Model Municipal Noise Control By-Law, Annex NPC-119 (Blasting).* Ontario Queen's Printer.

OSMRE (Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement). 2001. *Federal Register 30 CFR Sec. 816.67 Use of Explosives: Control of Adverse Effects*. Washington, DC.

TransCanada Pipelines Limited. 2005. *Environmental Impact Assessment of the Cacouna LNG Terminal Project, submitted to the Quebec Ministry of Environment, May, 2005*.